

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-243965

(43)Date of publication of application : 19.09.1995

(51)Int.Cl.

G01N 21/27  
A61B 10/00

(21)Application number : 06-031126

(71)Applicant : FUJI PHOTO FILM CO LTD

(22)Date of filing : 01.03.1994

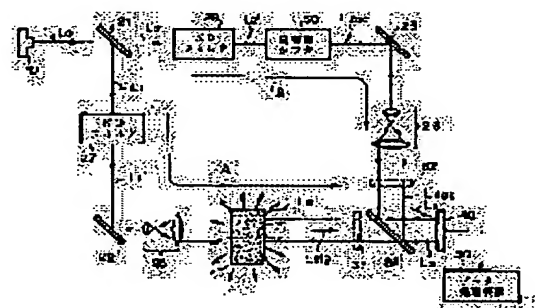
(72)Inventor : MIYAGAWA ICHIRO  
HORIKAWA KAZUO  
TOIDA MASAHIRO

## (54) LIGHT ABSORPTION INFORMATION DETECTING METHOD FOR LIGHT SCATTERING MEDIUM

(57)Abstract:

PURPOSE: To improve the S-N ratio without increasing the light quantity fed into a light scattering medium in a method for detecting the light absorption information of the light scattering medium.

CONSTITUTION: Light is emitted from one light source 10 and divided into two optical paths A, B. The straight transmitted light Lsig passes through the optical path A and transmits a light scattering medium 1, and the local light Llog passes through the optical path B and is slightly shifted in its frequency. Before they are superimposed on a beam splitter 24 to detect the interference light of them, a light shielding means 62 on the optical path B is closed to block the transit of the local light Lloc, the light intensity is detected by a light detector 40, the intensity of the local light Lloc is set to the detected light intensity or above, then the light shielding means 62 is opened to detect the interference light.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 22.06.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3390243

[Date of registration] 17.01.2003

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-243965

(43)公開日 平成7年(1995)9月19日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 1 N 21/27

A 6 1 B 10/00

識別記号

H

E

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数2 O L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願平6-31126

(22)出願日 平成6年(1994)3月1日

(71)出願人 000005201

富士写真フイルム株式会社

神奈川県南足柄市中沼210番地

(72)発明者 宮川 一郎

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士写真フイルム株式会社内

(72)発明者 堀川 一夫

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士写真フイルム株式会社内

(72)発明者 戸井田 昌宏

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士写真フイルム株式会社内

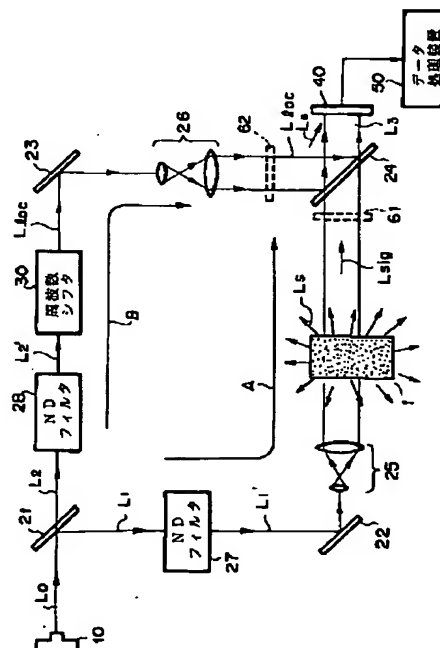
(74)代理人 弁理士 柳田 征史 (外1名)

(54)【発明の名称】 光散乱媒体の吸光情報検出方法

(57)【要約】

【目的】 光散乱媒体の吸光情報を検出する方法において、光散乱媒体に入射させる光量を増大させることなく、S/Nを向上させる。

【構成】 1つの光源10より出射され、2つの光路A、Bに分けられ、光路Aを通過し光散乱媒体1を透過した直進透過光 $L_{10}$ と、光路Bを通過し周波数が僅かにシフトされた局発光 $L_{100}$ とを、ビームスプリッタ24上で重ね合わせて2つの光の干渉光を検出するのに先だって、光路B上の光遮蔽手段62を閉じて局発光 $L_{100}$ の通過を阻止し、このとき光検出器40によって光強度を検出し、局発光 $L_{100}$ の強度をこの検出された光強度以上に設定したうえで、光遮蔽手段62を開いて干渉光を検出する。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 コヒーレントな光をそれぞれ互いに異なる2つの光路を進む2つの光に分割し、該分割された2つの光のうち少なくとも一方の光の周波数をわずかにシフトさせて該2つの光にわずかな周波数差を与え、該周波数差を有する2つの光の進む光路のうち一方の光路上に光散乱媒体を配し、該光散乱媒体を直進透過した光の進行方向と、他方の光路を通過した光の進行方向とが一致するように該2つの光路を通過した光を重ね合せ、該重ね合せて得られた光に生ずるビート信号の光強度を光検出器によって検出することにより、前記光散乱媒体を透過した光の中から直進透過光のみを検出して該光散乱媒体の吸光情報を得る光散乱媒体の吸光情報検出方法において、

前記ビート信号の検出に先立って、前記ビート信号とともに前記光検出器に入射される前記光散乱媒体からの散乱光および外界より入射する外光等の迷光の強度を予め検出し、前記他方の光路を通過する光の強度を少なくとも該検出された迷光の強度以上に設定することを特徴とする光散乱媒体の吸光情報検出方法。

【請求項2】 前記他方の光路を通過する光の強度を、前記光散乱媒体を直進透過した光と前記迷光とからなる前記一方の光の強度以上に設定することを特徴とする請求項1記載の光散乱媒体の吸光情報検出方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光散乱媒体の吸光情報を光ヘテロダイン検出方式により検出する方法に関し、詳細には光ヘテロダイン検出方式における局発参照光の強度の設定に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 生体等の光散乱性の媒体（以下、光散乱媒体という）の透過吸光情報を検出する方法の1つとして光ヘテロダイン検出方式が知られている（特開平2-110345号、同2-110345号公報等参照）。この光ヘテロダイン検出方式は、波長または周波数のわずかに異なる2つの光を、それらの進行方向が一致するように重ね合せ、2つの光の波長（または周波数）の差によって生じる光の干渉現象を利用するものであって、重ね合わされる2つの光の進行方向が完全に一致しないとその光の進行方向に垂直な面内において波長（または周波数）の差に応じて時間的に強弱を繰り返すビート信号が発生しないため、極めて高精度な、光の進行方向の弁別性能を有した検出方式といえることができる。

【0003】 光散乱媒体に光を入射すると、その光は光散乱媒体の表面や内部で反射、散乱、回折、透過などによってあらゆる方向に出射するが、光ヘテロダイン検出方式によれば、これら種々の方向に出射する光のうち所望の方向に出射する光だけを容易に検出することができ、例えばその光散乱媒体より光の入射方向と同一方向

2

に出射する直進透過光だけを弁別してその光強度を計測することにより、この媒体の吸光情報を検出することができ、媒体内部の形態情報や定量性を備えた生理・生化学情報を得るうえで非常に有用性が高い。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 ところでビート信号の検出の際には、光検出器に所望のビート信号の他に直進透過光の進行方向とは異なる方向に進む散乱光や光検出器の配置されている周囲からの外光（これらを総称して迷光という）も同時に入射するため、これらもビート信号と共に検出される。ビート信号は前述の通り所定の周波数で時間的に強弱を繰り返す交流成分であるため、直流成分である迷光と弁別するのは容易であるが、生体などの光散乱媒体を直進透過して出射する直進透過光は迷光に対して非常に微弱であり、この迷光によってフォトンノイズが増大し、ビート信号のS/Nを向上させることができないという問題がある。

【0005】 外光については、周囲の光から遮光された暗室環境下で上記検出を行えばある程度低減させることができるが、暗室環境下での作業は手間が掛かるという難点がある。

【0006】 またこの外光の影響を低減させる方法の一つとして、光散乱媒体に入射せしめる光量を増大させることによって、このS/Nを向上させることが考えられる。すなわち光散乱媒体に入射させる光量が増大すれば直進透過光もその光量に応じて増大するため信号光を増大させることができ、S/Nを向上させることができる。

【0007】 しかし直進透過光は上述したように入射する光量に比して非常に微弱であるため、信号光である直進透過光を僅かに増大させるために入射光量を大幅に増大させる必要がある。通常、光ヘテロダイン検出方法では、1つの光源より出射されたコヒーレント光を、光散乱媒体に入射する光路を進む光と、局発発振光（局発光または参照光ともいう）と称される他方の光路を進む光とに分割しているが、信号光（直進透過光）が微弱であることは知られているため、光散乱媒体に入射する光路を進む光の光量が局発発振光の光量に対して非常に大きくなるように設定されている。このため光散乱媒体に入射する光路を進む光の光量を大幅に増大させるには、光源の出力を増大させる必要が有り設備やコストの面で難点がある。さらに光散乱媒体に入射させる光量を増大させると、その増大された光のエネルギーによって光散乱媒体を侵害する虞がある。特にこの光ヘテロダイン検出方式を医学や生化学の分野において利用する際には生体を対象とすることから、無侵襲を確保する必要が有る。通常、生体に対する最高許容量はレーザ光の場合10mW/mm<sup>2</sup>程度である。したがってS/Nを向上させるために光散乱媒体に入射する光路を進む光の光量を大幅に増大させることは困難である。

3

【0008】また散乱媒体内部で散乱して検出される迷光については、入射光量が增大するのに応じてその迷光の光量も比例して増大するので、結果的にS/Nを向上させることができないという問題がある。

【0009】本発明は上記事情に鑑みなされたものであって、光散乱媒体に入射させる光量を増大させることなく、S/Nを向上させる光散乱媒体の吸光情報検出方法を提供することを目的とするものである。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の光散乱媒体の吸光情報検出方法は、光ヘテロダイン方式によって生体などに代表される光散乱媒体の前方散乱光の直進光成分（直進透過光）や後方散乱光の直進光成分を検出する際に、局発光の強度を、光検出器に同時に入射する散乱光や検出系の外界からの外光などの迷光（ノイズ成分）の強度以上に設定して信号光（シグナル成分）を向上させることを特徴とするものである。

【0011】すなわち本発明の光散乱媒体の吸光情報検出方法は、コヒーレントな光をそれぞれ互いに異なる2つの光路を進む2つの光に分割し、分割された2つの光のうち少なくとも一方の光の周波数をわずかにシフトさせてこれら2つの光にわずかな周波数差を与え、この周波数差を有する2つの光の進む光路のうち一方の光路上に光散乱媒体を配し、光散乱媒体を直進透過した光の進行方向と、他方の光路を通過した光の進行方向とが一致するように該2つの光路を通過した光を重ね合せ、重ね合せて得られた光に生ずるビート信号の光強度を光検出器によって検出することにより、光散乱媒体を透過した光の中から直進透過光のみを検出して光散乱媒体の吸光情報を得る光散乱媒体の吸光情報検出方法において、ビート信号の検出に先立って、ビート信号とともに光検出器に入射される光散乱媒体からの散乱光および外界より入射する外光等の迷光の強度を予め検出し、他方の光路を通過する光の強度を少なくとも検出された迷光の強度以上に設定することを特徴とするものである。

【0012】以下、上記迷光の強度の求め方を具体的に説明する。

【0013】上述のビート信号検出系において、まず上記光散乱媒体の無い状態で前記周波数差で強弱を繰り返すビート信号（第1のビート信号という）の強度を検出する。この第1のビート信号の強度はこのとき上記検出系に入射している局発光（第1の局発光という）の強度と、信号光（直進透過光；第1の信号光という）の強度と、所定の比例定数によって一義的に決まる。

【0014】ここで各光路を各別に遮断して第1の局発光の強度と、第1の信号光の強度とを各別に検出する。

【0015】次いでこの光検出器の配置位置などの検出条件を変えないように、上記光散乱媒体を上記一方の光路上に配置して上記光散乱媒体の無い状態と同様に、周波数差で強弱を繰り返すビート信号（第2のビート信号

4

という）の強度を検出する。この第2のビート信号の強度はこのとき上記検出系に入射している局発光（第2の局発光という）の強度と、信号光（直進透過光；第2の信号光という）の強度と、所定の比例定数によって一義的に決まる。なお上記第1のビート信号を検出する際の検出条件と第2のビート信号を検出する際の検出条件とが同一であるため、この比例定数は両検出時において一致する。

【0016】ここで第2の信号光を遮断して第2の局発光の強度を検出する。

【0017】このようにして検出された第1のビート信号、第1の局発光、第1の信号光、第2のビート信号、第2の局発光の各強度に基づいて第2の信号光の強度を計算により求める。

【0018】続いて、光検出器と光散乱媒体との相対位置などの検出条件を変えないように第2の局発光を遮断して光散乱媒体を通過する側の光路を通過した光の強度を検出する。この光散乱媒体を通過する側の光路を通過した光は、第2の信号光と迷光との総和であるから、この光強度から上記計算により求められた第2の信号光の強度を差し引くことによって、迷光の強度を求めることができる。

【0019】ところで実際の光散乱媒体においては第2の信号光は迷光に対して極めて微弱であるから、第2の局発光を遮断して光散乱媒体を通過する側の光路を通過した光と、迷光とは略等しいと考えることができる。

【0020】したがって上述の検出系において局発光の強度を、上述の第2の局発光を遮断したときに検出される光散乱媒体を通過する側の光路を通過した光の強度以上、すなわち直進透過光と迷光とが加算された光の強度以上に設定すれば、上述のような複数回の計測や複雑な計算を必要としない点でより実用性が高い。

【0021】なお本発明の光散乱媒体の吸光情報検出方法は、上述のように光散乱媒体を直進透過した直進透過光を検出する検出方法に限らず、光散乱媒体の反射光（後方散乱光）を検出する検出方法に適用することもできる。

【0022】すなわち、コヒーレントな光をそれぞれ互いに異なる2つの光路を進む2つの光に分割し、分割された2つの光のうち少なくとも一方の光の周波数をわずかにシフトさせてこれら2つの光にわずかな周波数差を与え、この周波数差を有する2つの光の進む光路のうち一方の光路上に光散乱媒体を配し、光散乱媒体の後方散乱光成分と、他方の光路を通過した光とを進行方向が一致するように重ね合せ、重ね合せて得られた光に生ずるビート信号の光強度を光検出器によって検出することにより、光散乱媒体を反射した後方散乱光の中から所望の方向に散乱する後方散乱光のみを検出して光散乱媒体の散乱光情報を得る光散乱媒体の反射光（後方散乱光）を検出する検出方法において、ビート信号の検出に先立っ

5

て、ビート信号とともに光検出器に入射される、上記所望の方向以外の方向に散乱する散乱光および外界より入射する外光等の迷光の強度を予め検出し、他方の光路を通過する光の強度を少なくとも検出された迷光の強度以上に設定する構成を採ることもできる。

【0023】また光検出器としてはダイナミックレンジの広いものが望ましく、例えば7〜8桁のダイナミックレンジを有するシリコンフォトダイオードなどが好ましい。このように幅広いダイナミックレンジを有する光検出器を用いることによって、局発光の強度を増大させても感度よく微弱なビート信号を検出することができる。

【0024】

【作用】本発明の光散乱媒体の吸光情報検出方法は、光ヘテロダイン方式における局発光の強度を予め検出された迷光の強度以上に設定することによって、光散乱媒体を直進透過した光（あるいは後方散乱光）とこの局発光とが重ね合わされて得られるビート信号を、一定強度あるいは直進透過光（あるいは後方散乱光）の増大に伴って強度の増大する迷光に対して増大させる。これによって上記直進透過光（あるいは後方散乱光）を信号光とするS/Nを向上させることができる。

【0025】なお迷光が外光のみ（すなわち迷光は直進透過光の強度に依存せず一定）であり、局発光の強度を迷光の強度と一致させたときのS/Nは、迷光の全く無い理想的な検出状態（暗室内における検出状態）に対して−3 dBまで向上し、S/Nの改良においては許容レベル（上記理想的な検出状態に対して−3 dB以下）に達する。さらに迷光の強度に対する局発光の強度を増大するのに応じて、S/Nは上記理想的な検出状態のS/Nに限りなく近づけることができる。

【0026】

【実施例】以下、本発明の光散乱媒体の吸光情報検出方法について図面を用いて説明する。

【0027】図1は光ヘテロダイン検出方式を用いた光散乱媒体の吸光情報検出方法を実施する装置の構成を示す概略構成図、図2は図1に示した吸光情報検出する装置に本発明の光散乱媒体の吸光情報検出方法を適用したステップを説明するための概略構成図である。図1に示した光散乱媒体の吸光情報検出装置は、コヒーレント光である所定の周波数 $\omega$ のレーザ光 $L$ を出射するレーザ光源10と、この光源10より出射された光 $L$ を2つの光路A、Bに沿ってそれぞれ進行する2つの光 $L_1$ 、 $L_2$ に分割し、その後重ね合わせるビームスプリッタ21、24およびミラー22、23を有し、光路A上には吸光情報を検出しようとする光散乱媒体1（以下、媒体1という）が配置される。さらに吸光情報検出装置は、各光路A、B上にそれぞれ設けられた光量調整用のNDフィルタ27、28と、NDフィルタ27、28によって光量の調整された各光 $L_1$ 、 $L_2$ をそれぞれ同一のビーム径の平行な光束に拡大させるビームエキスパンダ25、26と、2つ

6

の光路A、Bのうち一方の光路Bを進む光 $L_2$ を入力し、その光 $L_2$ の周波数 $\omega$ をわずかな周波数 $\Delta\omega$ だけシフトさせたくえて周波数 $\omega + \Delta\omega$ の局発光 $L_{10}$ として出力する周波数シフタ30と、ビームスプリッタ24により重ね合わされた光および外光からなる光 $L_1$ の光強度を検出し光电変換して電気信号を出力する光検出器40と、該光検出器40により検出された光強度を示す信号を光ヘテロダイン検波し、光ヘテロダイン検波された光強度信号に基づいて媒体1の吸光情報を算出するデータ処理装置50を備えてなる構成である。

【0028】さらに、各光路A、B上の重ね合わせ用ビームスプリッタ24の直前には、各光路A、Bをそれぞれ通過した光束 $L_1$ 、 $L_2$ がビームスプリッタ24に入射するのを遮る閉位置と許容する開位置とを選択的に採り得る光遮蔽手段61、62が設けられている。

【0029】なお本来媒体1の表面形状は曲面によって形成されており、そのため図3（A）に示すように光束 $L_1$ が媒体1に入出射する際、その界面において屈折して光束 $L_1$ の進行方向が変わり、アーチファクトの原因となる。そこで図1に示すように、媒体1の光束 $L_1$ の入出射面は光束の進行方向に垂直に形成することが望ましい。しかし生体などそのように形成できないものについては、図3（B）に示すように、媒体1とはほぼ同一の屈折率を有する光透過性のマッチング媒体2を媒体1に密着させて、光束 $L_1$ の進行方向が屈折の影響を受けないようにする。なお、このマッチング媒体2への光の入出射面は光束 $L_1$ の進行方向に対してほぼ垂直に仕上げられている。このマッチング媒体2は例えば図3（C）に示すように、媒体1と同一屈折率の液状媒体4が充填されたポリエチレン等の極薄の可撓性袋体3を、平行平板ガラス5に密着させたものによって構成することができ、これを媒体1に光束 $L_1$ の入出射方向よりそれぞれ押し付けてサンドイッチ構造を構成することによって実現することができる。

【0030】次の本実施例の作用について説明する。

【0031】光源10より所定の強度、所定の周波数 $\omega$ で出射されたレーザ光 $L$ は、ビームスプリッタ21によって2つの光路A、Bをそれぞれ進む2つの光 $L_1$ 、 $L_2$ に分割される。光路Aを進む光 $L_1$ は、ビームスプリッタ21によって反射された光であり、NDフィルタ27に入射し、このNDフィルタ27によってその光量が調整される。

【0032】一般に光散乱媒体を直進透過する直進透過光は散乱光に対してその強度（光量）は微弱であるため、媒体1を通過する光路Aを進む光 $L_1$ は、NDフィルタ27によって光量を極端に絞ることはしないで光量のわずかな調整がなされて出射される。NDフィルタ27により光量を調整されて出射された $L_1$ はミラー22によって反射され、次いでビームエキスパンダ25によってビーム径が拡大され平行な光束 $L_1$ に変換されて媒体1

に入射する。

【0033】光束 $L_1'$ が入射した媒体1からは、媒体1内部の光散乱媒質により種々の方向に散乱されて出射する散乱光 $L$ と、この媒体1に特徴的に吸光されてこの媒体1の吸光情報を担持し入射方向と同一方向に出射される直進透過光 $L_{11}$ とが出射し、散乱光 $L$ の一部 $L_{10c}$ と直進透過光 $L_{11}$ はビームスプリッタ24に入射する。

【0034】一方、光路Bを進む光 $L_2$ はビームスプリッタ21を透過した光であり、光路Aを進む光 $L_1$ と同様にNDフィルタ28に入射し、このNDフィルタ28によって光量が調整される。光路B上のNDフィルタ28は、光路A上の媒体1より出射される直進透過光 $L_{11}$ の光量に応じて、光路Bを進む光 $L_2$ の光量を調整するものである。NDフィルタ28により光量を調整された後の光 $L_2'$ は、周波数シフタ30により元の周波数 $\omega$ に対してわずかな周波数 $\Delta\omega$ だけシフトされ、周波数 $\omega + \Delta\omega$ の局発光 $L_{10c}$ として出力される。

【0035】この局発光 $L_{10c}$ はミラー23によって反射され、次いでビームエキスパンダ26によって光路Aを進む光束 $L_1'$ のビーム径と略同一のビーム径に拡大されてビームスプリッタ24に入射する。

【0036】光路Aを通過してビームスプリッタ24を透\*

$$I_0 = I_{11} + I_{10c} + 2(I_{11} \times I_{10c})^{1/2} \cdot \cos(\Delta\omega \cdot t) + I_0 \quad (1)$$

但し、 $I_{11}$ ：直進透過光 $L_{11}$ の強度

$I_{10c}$ ：局発光 $L_{10c}$ の強度

$I_0 = I_0 + I_0$ ：迷光 $L_0$ の強度

$I_0$ ：外光 $L_0$ の強度

$I_0$ ：散乱光 $L$ の強度

以上の作用により媒体1の吸光情報が得られるが、光検出器40には上述の散乱光 $L$ 、直進透過光 $L_{11}$ および局発光 $L_{10c}$ の他、光検出器40の周囲の外光 $L_0$ も入射する。したがって直進透過光 $L_{11}$ と局発光 $L_{10c}$ とが\*

$$S/N = k(I_{11} \times I_{10c})^{1/2} / (I_{11} + I_{10c} + I_0)^{1/2} \\ = k \cdot I_{11}^{1/2} / (1 + I_{11} / I_{10c} + I_0 / I_{10c})^{1/2}$$

但し、 $k$ は定数

ここで局発光 $L_{10c}$ の強度 $I_{10c}$ は迷光 $L_0$ の強度 $I_0$ に無関係に設定することができるため、この局発光 $L_{10c}$ の強度 $I_{10c}$ を迷光 $L_0$ の強度 $I_0$ 以上に設定することにより、ビート信号の $S/N$ を向上させることができる。

【0043】以下、上述の $S/N$ を向上させる本発明の光散乱媒体の吸光情報検出方法を説明する。

【0044】まず図1に示した吸光情報検出方法を実施する装置から媒体1を除去する(図2参照)。この媒体1が除去された状態で上述の作用と同様に光源10より所定の強度、所定の周波数のレーザ光 $L_0$ を出射する。このレーザ光 $L_0$ は、ビームスプリッタ21によって2つの光路A、Bをそれぞれ進む2つの光 $L_1$ 、 $L_2$ に分割される。光路Aを進む光 $L_1$ は、NDフィルタ27に入射し

\* 過した光(散乱光 $L$ の一部 $L$ と直進透過光 $L_{11}$ )と光路Bを通過してビームスプリッタ24で反射された局発光 $L_{10c}$ は、それぞれ光検出器40に入射し、光検出器40は入射した光をその強度に応じた電気信号に光電変換してこの電気信号をデータ処理装置50に入力する。

【0037】ここでビームスプリッタ24は、局発光 $L_{10c}$ を、直進透過光 $L_{11}$ の進行方向と同一方向に進むように反射せしめるため、直進透過光 $L_{11}$ と局発光 $L_{10c}$ とは重ね合わされる。散乱光 $L$ の一部(以下、単に散乱光という) $L$ は直進透過光 $L_{11}$ に対して進行方向が異なるため局発光 $L_{10c}$ とは重ね合わされない。

【0038】重ね合わされる局発光 $L_{10c}$ と直進透過光 $L_{11}$ の間には周波数差 $\Delta\omega$ があるため、重ね合わされた後の光 $L$ にこの差の周波数 $\Delta\omega$ で強弱を繰り返す信号(ビート信号)が生じる。したがってデータ処理装置50は、光検出器40により検出された光強度 $I_0$ から、この周波数 $\Delta\omega$ で強弱を繰り返す信号成分(交流成分)を分離して直進透過光 $L_{11}$ 成分を抽出し媒体1の吸光情報を検出する処理を行う。

【0039】なお光検出器40により検出された光強度 $I_0$ は下記式(1)で表される。

【0040】

\* 重ね合わされて得られる微弱なビート信号(式(1)における $2(I_{11} \times I_{10c})^{1/2} \cdot \cos(\Delta\omega \cdot t)$ )の $S/N$ を向上させて、吸光情報の検出精度を高める必要がある。

【0041】ビート信号の信号成分は $(I_{11} \times I_{10c})^{1/2}$ に比例し、ノイズ成分は全体の光量の平方根 $(I_{11} + I_{10c} + I_0)^{1/2}$ に比例するため、 $S/N$ は下記式(2)で表される。

【0042】

$$S/N = k(I_{11} \times I_{10c})^{1/2} / (I_{11} + I_{10c} + I_0)^{1/2} \\ = k \cdot I_{11}^{1/2} / (1 + I_{11} / I_{10c} + I_0 / I_{10c})^{1/2} \quad (2)$$

その光量が調整され、光量を調整されて出射された $L_1'$ はミラー22によって反射され、ビームエキスパンダ25によってビーム径が拡大され平行な光束 $L_1'$ に変換されてビームスプリッタ24に入射する。

【0045】一方、光路Bを進む光 $L_2$ はNDフィルタ28により、後述のビームスプリッタ24上で重ね合わされる光路Aを通過した光 $L_1'$ との干渉によりビート信号が検出できるレベル以上となるようにその光量が調整される。

【0046】光路Aを通過してビームスプリッタ24を透過した光 $L_1'$ と光路Bを通過してビームスプリッタ24で反射された局発光 $L_{10c}$ とは、重ね合わされて上述のように周波数 $\Delta\omega$ で強弱を繰り返すビート信号 $B_1$ を生じる。そしてこのビート信号 $B_1$ を含む光(光路Aを通

過した光 $L_1'$ 、光路Bを通過した局発光 $L_{10c}$ および

外光 $L_0$ )が光検出器40に入射する。この光検出器40により検出される光の強度 $I_0'$ は下記式(3)のように\*

$$I_0' = I_1' + I_{10c} + 2(I_1' \times I_{10c})^{1/2} \cdot \cos(\Delta\omega \cdot t) + I_0 \quad (3)$$

但し、 $I_1'$ ；光路Aを通過した光 $L_1'$ の強度

$I_{10c}$ ；局発光 $L_{10c}$ の強度

$I_0$ ；外光 $L_0$ の強度

この検出された光の強度 $I_0'$ はデータ処理装置50に入

力され、データ処理装置50はビート信号 $B_1$ の成分の強

$$S_1 = k_1 (I_1' \times I_{10c})^{1/2} \quad (4)$$

次に光遮蔽手段61を閉位置に移動して光路Aを進む光 $L_1'$ がビームスプリッタ24に入射するのを阻止したうえで局発光 $L_{10c}$ の強度 $I_{10c}$ を光検出器40によって検出し、次いで光遮蔽手段62を開位置に戻し、光遮蔽手段62を閉位置に移動して光路Bを進む局発光 $L_{10c}$ がビームスプリッタ24に入射するのを阻止したうえで光路Aを通過した光 $L_1'$ の強度 $I_1'$ を検出する。

【0049】次に、光遮蔽手段61、62を予め開位置に移動し、この媒体1を除去した状態と検出条件が変わらないように光路A上に計測しようとする媒体1を配し(図1の状態)、光源10より所定の強度、所定の周波数でレーザ光 $L_0$ を出射して上述と同様に作用によるビート信号 $B_2$ の成分の強度を検出する。なお検出条件が変わらないようにとは、光検出器40と媒体1との配置位置が変わらないようにすることを意味する。

【0050】ここで光路Aを進む光 $L_1$ は、NDフィルタ27に入射しその光量が調整され、光量を調整されて出射された $L_1'$ はミラー22によって反射され、ビームエクスパンダ25によってビーム径が拡大され平行な光束 $L_1$ ★30

$$I_0'' = I_{11a} + I_{10c}' + 2(I_{11a} \times I_{10c}')^{1/2} \cdot \cos(\Delta\omega \cdot t) + I_1 + I_2 \quad (5)$$

但し、 $I_{11a}$ ；直進透過光 $L_{11a}$ の強度

$I_{10c}'$ ；局発光 $L_{10c}'$ の強度

$I_1$ ；外光 $L_1$ の強度

$I_2$ ；散乱光 $L_2$ の強度

☆ 【0054】

$$S_2 = k_2 (I_{11a} \times I_{10c}')^{1/2} \quad (6)$$

媒体1を除去した状態(図2)と加入した状態(図1)

とで検出条件を同一であるから $k_1 = k_2$ であり、したが

$$S_2 = k_1 (I_{11a} \times I_{10c}')^{1/2} \quad (7)$$

式(4)と式(7)とから、

$$S_1 / S_2 = (I_1' \times I_{10c}) / (I_{11a} \times I_{10c}')^{1/2} \quad (8)$$

となる。

【0056】次に光遮蔽手段62を閉位置に移動して局発光 $L_{10c}$ が光検出器40に入射するのを遮断したうえで上記光検出器40による光路Aを通過した光 $L_{11a}$ 、 $L_1$ の

$$I = I_{11a} + I_1 + I_2 \quad (9)$$

したがって、散乱光 $L_2$ と外光 $L_1$ からなる迷光 $L_0$

の強度 $I_0$ は、下記式(10)により求められる。

\*表される。

【0047】

※度を分離して検出する。このビート信号 $B_1$ の成分の強度 $S_1$ は、検出条件によって変化する定数 $k_1$ によって下記式(4)のように表される。

【0048】

★ $L_1'$ に変換されて上述の作用と同様に媒体1に入射し、媒体1からは直進透過光 $L_{11a}$ と散乱光 $L_2$ が出射し、これらがビームスプリッタ24に入射する。

【0051】一方、光路Bを進む光 $L_2$ はNDフィルタ28により、後述のビームスプリッタ24で重ね合わされる光路Aを通過した直進透過光 $L_{11a}$ との干渉によりビート信号が検出できるレベル以上となるようにその光量が設定される。

20 【0052】光路Aを通過してビームスプリッタ24を透過した直進透過光 $L_{11a}$ と光路Bを通過してビームスプリッタ24で反射された局発光 $L_{10c}'$ とは、重ね合わされて上述のように周波数 $\Delta\omega$ で強弱を繰り返すビート信号 $B_2$ を生じる。そしてこのビート信号 $B_2$ を含む光(光路Aを通過した直進透過光 $L_{11a}$ と散乱光 $L_2$ 、光路Bを通過した局発光 $L_{10c}'$ および外光 $L_0$ )が光検出器40に入射する。この光検出器40により検出される光の強度 $I_0''$ は下記式(5)のように表される。

【0053】

☆ここでビート信号 $B_2$ の成分の強度 $S_2$ は、検出条件によって変化する定数 $k_2$ によって下記式(6)のように表される。

【0054】

◆がって下記式(7)のように表される。

【0055】

\* $I_{10c}'$ )<sup>1/2</sup>と変形され、したがって、

※検出を行う。このとき検出される光の強度 $I$ は、下記式(9)で表される。

【0057】

【0058】



11

$$\begin{aligned}
 I_0 &= I_{sc} + I_{le} \\
 &= I - I_{le} \\
 &= I - (I_{le}' \times I_{le} / I_{le}') \cdot (S_2 / S_1)^2 \quad (10)
 \end{aligned}$$

以上の説明した方法により、局発光 $L_{le}$ の強度 $I_{le}$ を迷光 $L_{le}$ の強度 $I_{le}$ 以上に設定したうえで、前述の光散乱媒体の吸光情報検出を行えば、散乱光や外光が全く無いときに検出されるビート信号の $S/N$ に対して3 dB程度低下するだけの良好な $S/N$ でビート信号を検出することができる。

【0059】したがって、非情に微弱なレベルの信号光量 $I_{le}$ まで検出することができるため、2次元走査または並列検出を行って、媒体1の2次元の吸光情報を、迷光に依存せずに高精度、高ダイナミックレンジで測定することが可能となる。

【0060】なお本実施例においては迷光 $L_{le}$ の強度 $I_{le}$ を複数回の計測によって求めたが、本発明の光散乱媒体の吸光情報検出方法は、局発光 $L_{le}$ の強度 $I_{le}$ を迷光 $L_{le}$ の強度 $I_{le}$ 以上となるように設定しさえすればよいので、光検出器のダイナミックレンジ内であれば、図1において光遮蔽手段62を閉じて局発光 $L_{le}$ がビームスプリッタ24に入射しないようにしたうえで、光散乱媒体1を通過する光路Aを通過した光の強度 $I (= I_{le} + I_{le} + I_{le})$ を検出し、局発光 $L_{le}$ の強度 $I_{le}$ をこの光路Aを通過した光の強度 $I (= I_{le} + I_{le})$ 以上とすれば、より簡単に局発光 $L_{le}$ の強度 $I_{le}$ を設定することができる。

【0061】図4は、直進透過光 $L_{le}$ の強度 $I_{le}$ に対する $S/N$ を、局発光 $L_{le}$ の強度 $I_{le}$ 、迷光 $L_{le}$ の強度 $I_{le}$ をパラメータとした式(1)に基づくグラフである。図4に示した3つの曲線のうち1点鎖線で示す曲線①は、迷光 $L_{le}$ の強度 $I_{le} = 0$ の理想的な検出方法によるグラフ、破線で示す曲線②は、迷光 $L_{le}$ の強度 $I_{le}$ が所定の値 $I_k$ の10倍( $I_{le} = 10 \cdot I_k$ )である従来の検出方法によるグラフ、実線で示す曲線③は、局発光 $L_{le}$ の強度 $I_{le}$ が迷光 $L_{le}$ の強度 $I_{le}$ と同一( $I_{le} = I_{le} = 10 \cdot I_k$ )である本発明の検出方法によるグラフである。図示のグラフによれば、外光が光検出器に入射するような通常的环境下(曲線②)における従来の光散乱媒体の吸光情報検出方法と比べて、本発明の検出方法ではビート信号の $S/N$ が、散乱光や外光が全く無い(実際には不可能な)理想的な検出方法(曲線①)における $S/N$ より3 dB程度低下するだけの良好な検出を実現することができる。

【0062】また各曲線が $20 \log(S/N) = 0$ となるときの $\log I_{sig}$ が示す最小検出感度 $A_1$ も、理想的な検出方法(曲線①)における最小検出感度 $A_1$ に近付けることができ検出感度を向上することができる。

【0063】なお、上記光検出器40としてはダイナミックレンジの広いものが望ましく、例えば7~8桁のダイナミックレンジを有するシリコンフォトダイオードなど

12

が好ましい。このように幅広いダイナミックレンジを有する光検出器を用いることによって、局発光の強度を増大させても感度よく微弱なビート信号を検出することができる。

【0064】

【発明の効果】本発明の光散乱媒体の吸光情報検出方法は、媒体へ入射させるレーザ光などのコヒーレントな光の強度を増大させることがないため、このコヒーレント光による媒体への侵害がないか、あるいは従来の方法と同程度とすることができる。特にこの光散乱媒体として生体を用いた場合には、コヒーレント光による媒体への侵害を極力少なくする必要があり、本発明の方法はこれを実現することができる。そしてこのような媒体への侵害を極力低減したうえで、光ヘテロダイン検出方式による直進透過光や後方散乱光の $S/N$ を容易に向上させることができ、実用上非常に有用である。

【0065】また、従来のように検出系を外光から遮蔽するために暗室環境下で検出作業を行なう必要がなく、より簡便に光散乱媒体の吸光情報を検出することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】光ヘテロダイン検出方式を用いた光散乱媒体の吸光情報検出方法を実施する装置の構成を示す概略構成図

【図2】図1に示した吸光情報検出装置に本発明の光散乱媒体の吸光情報検出方法を適用したステップを説明するための概略構成図

【図3】(A)媒体の表面形状によるアーチファクトの原因について説明する図

(B)マッチング媒体によるアーチファクトの防止について説明する図

(C)マッチング媒体の構成を示す構成図

【図4】直進透過光 $L_{le}$ の強度 $I_{le}$ 変化に対する $S/N$ の変化を示すグラフ

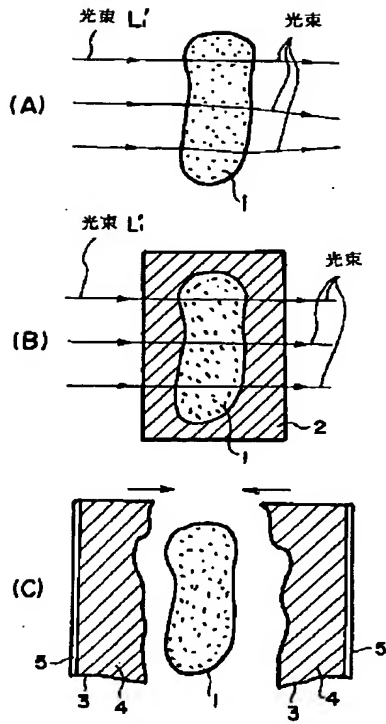
【符号の説明】

- 1 光散乱媒体
- 2 マッチング媒体
- 3 可撓性袋体
- 4 液状媒体
- 5 平行平板ガラス
- 10 レーザ光源
- 21, 24 ビームスプリッタ
- 22, 23 ミラー
- 25, 26 ビームエクステンダ
- 27, 28 NDフィルタ
- 30 周波数シフタ
- 40 光検出器



[illegible]

【図3】



【図4】

